Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 21, No. 2, Summer 2023, p. 143-157

Evaluation of the Effect of Nitrogen Consumption and Use Efficiency on Yield and Yield Components of Two Potato Cultivars under Quchan Conditions

M. Nouri[1], M. Jahan[2*], H. R. Khazaei[2], M. Nassiri-Mahallati[2], K. Shojaei[3]

Received: 31-10-2021 Revised: 16-11-2021 Accepted: 29-11-2021	**How to cite this article:** Nouri, M., Jahan, M., Khazaei, H. R., Nasiri-Mahallati, M., & Shojaei, K. (2023). Evaluation of The Effect of Nitrogen Consumption and Use Efficiency on Yield and Yield Components of Two Potato Cultivars under Quchan Conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research, 21*(2), 143-157. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.73363.1107

Introduction

Nitrogen (N) is one of the main limiting factors in agroecosystems all around the world. However, high application rates of N fertilizers would lead to negative environmental consequences. Reduction of N fertilizers consumption decreases production costs and environmental pollution. Therefore, N efficiency to be enhanced due to the high N fertilizer cost and required measures to prevent the waste of N. Cultivation of diverse crop cultivars with higher resources absorption and utilization efficiency is one of the major approaches in sustainable agriculture that would result in the effective use of natural and chemical inputs and reduce significantly the environmental risks. Quchan City is one of the potato production poles in Khorasan Razavi province. In this region, large amounts of N fertilizers annually are consumed in the potato agroecosystem. Therefore, the potato of the present study was evaluating N uptake and utilization efficiency, and finally, N uses efficiency in the potato agroecosystem of Quchan.

Materials and Methods

This experiment was performed in the cropping year of 2020-21 in Quchan located in Khorasan Razavi province. A split plots arrangement based on a randomized complete block design with three replications was conducted. Different nitrogen application rates (0, 50, 100, and 150 kg of pure nitrogen per hectare) were assigned to the main plot and the sub-plot factor consisted of two potato cultivars, Agria and Arinda. To calculate the efficiency of nitrogen application, the amount of nitrogen in the soil was also considered. Equations (1 to 3) were used to calculate nitrogen efficiencies:

$$NUpE = \frac{AN\ (kg.ha^{-1})}{TN\ (kg.ha^{-1})} \quad \text{Eq. 1}$$

$$NUtE = \frac{TY\ (kg.ha^{-1})}{AN\ (kg.ha^{-1})} \quad \text{Eq. 2}$$

$$NUE = \frac{TY\ (kg.ha^{-1})}{TN\ (kg.ha^{-1})} \quad \text{Eq. 3}$$

Results and Discussion

The results of the analysis of variance showed that the effect of nitrogen fertilizer and cultivar on yield was significant. At the same levels of nitrogen, the Arinda cultivar had a higher yield and with increasing nitrogen application, an increase in yield was observed in both Agria and Arinda cultivars. The effect of nitrogen application and cultivar on nitrogen uptake, utilization, and use efficiency was significant ($p \leq 0.01$). Comparing

1- Ph.D. Student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Assistant Professor, Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources of Khorasan Razavi Province, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: jahan@ferdowsi.um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.73363.1107

the interaction of nitrogen and cultivar on nitrogen utilization efficiency, showed that the Arinda cultivar had higher efficiency than the Agria cultivar.

Conclusion

By increasing the amount of nitrogen fertilizer application, improvement was achieved in most of the evaluated characteristics of potato cultivars, including yield. Arinda cultivar had better conditions in terms of tuber yield and nitrogen uptake, utilization, and use efficiency compared to Agria.

Keywords: Environmental health, Fertilization management, Harvest index, Nitrogen efficiency, Tuber nitrogen percentage

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۱، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۱۵۷-۱۴۳

اثر مقدار کاربرد نیتروژن و بهره‌وری آن بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم سیب‌زمینی در شرایط قوچان

محسن نوری[۱]، محسن جهان[۲*]، حمیدرضا خزاعی[۲]، مهدی نصیری محلاتی[۲]، کوروش شجاعی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۸

چکیده

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در شهرستان قوچان به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل کرت اصلی میزان مصرف نیتروژن در چهار سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار و عامل کرت فرعی دو رقم سیب‌زمینی شامل ارقام اگریا و آریندا بودند. اثر میزان مصرف نیتروژن و رقم بر تمام صفات مورد مطالعه به‌جز تعداد کل غده در بوته معنی‌دار بود، ولی اثر برهمکنش آن‌ها فقط بر تعداد غده متوسط و تعداد کل غده در بوته معنی‌دار شد. بیشترین تعداد غده‌های ریز به رقم اگریا با میانگین ۳/۳ غده در بوته تعلق داشت. بیشترین عملکرد مربوط به تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص رقم آریندا با میانگین تولید ۳۶۱۱۹ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد مربوط به تیمار بدون نیتروژن رقم اگریا با میانگین تولید ۲۱۹۶۵ کیلوگرم در هکتار بود. کارایی مصرف، کارایی جذب و کارایی تبدیل نیتروژن در رقم آریندا بیشتر از رقم اگریا بود. رقم آریندا با میانگین ۲۵۱ کیلوگرم غده بر کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده در هکتار از کارایی تبدیل نیتروژن بالاتری نسبت به رقم اگریا با ۱۹۹ کیلوگرم غده بر کیلوگرم نیتروژن جذب شده در هکتار برخوردار بود. بیشترین اختلاف دو رقم در کارایی تبدیل نیتروژن مربوط به سطح بدون مصرف نیتروژن و کمترین اختلاف مربوط به سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار بود. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که رقم مناسب جهت کشت در منطقه قوچان، رقم آریندا با سطح مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار است که نه تنها از نظر بهره‌وری نیتروژن نسبت به اگریا برتری دارد، بلکه از عملکرد بالاتری نیز برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری نیتروژن، درصد نیتروژن غده، سلامت محیط‌زیست، شاخص برداشت، مدیریت کوددهی

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) بعد از گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) بیشترین سهم را در تولید محصولات غذایی دارد و نقش مهمی در تغذیه و سبد غذایی مردم جهان بازی می‌کند (FAO, 2017). کم کردن فاصله بین عملکرد واقعی که در حال حاضر در مزارع به‌دست می‌آید و عملکردی که می‌تواند به‌وسیله‌ی استفاده از بهترین ارقام سازگار با محیط و بهترین روش‌های مدیریت آب، خاک و گیاه به‌دست آید، راهکاری کلیدی جهت غلبه بر چالش تغذیه‌ای جمعیت در حال رشد جهان است. در بین گیاهان زراعی که به‌عنوان غذای انسانی مصرف می‌شوند، سیب‌زمینی از نظر میزان مصرف در سطح جهان بعد از برنج و گندم در جایگاه سوم و پس از آن ذرت قرار دارد. بر این اساس سازمان خوار بار جهانی این محصول زراعی را با توجه به روند رو به رشد جمعیت و تبعات ناشی از آن نظیر افزایش تعداد گرسنگان و نیاز به غذا، به‌عنوان یک گیاه امنیت غذایی معرفی و توصیه نموده است (Devaux, Kromann, & Ortiz, 2014). سیب‌زمینی در راهبردهای امنیت غذایی نقشی دوگانه بازی می‌کند، بدین ترتیب که هم به‌عنوان غذا توسط کشاورزان فقیر و کم‌درآمد مصرف می‌شود و هم در مواردی که بیش از نیاز تولید شود به‌عنوان یک ماده غذایی به فروش می‌رسد (Devaux *et al.*, 2014). در

۱- دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: jahan@ferdowsi.um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.73363.1107

ایران سالیانه حدود ۱۴۳۰۰۰ هکتار از زمین‌های کشاورزی با متوسط عملکردی معادل ۳۶/۶۴ تن در هکتار به کشت سیب‌زمینی اختصاص می‌یابد که از نظر سطح زیرکشت و تولید در رتبه سوم محصولات در کشور قرار دارد (Agricultural Statistics, 2018). در استان خراسان رضوی در حال حاضر بیش از ۱۶۳ هزار تن سیب‌زمینی از سطحی برابر با ۵۰۰۰ هکتار زمین زراعی با میانگین عملکرد ۳۲/۷۷ تن برداشت می‌شود (Agricultural Statistics, 2018).

کاربرد کودهای شیمیایی اثرات مهمی بر عملکرد کمی و کیفی سیب‌زمینی دارند (Leytem & Westermann, 2005). مصرف کود نیتروژن گاهاً بیش از حد نیاز گیاه بوده، از این‌رو بهبود کارایی مصرف زراعی نیتروژن یک راهبرد کلیدی در جهت پیشبرد سیاست‌های کشاورزی پایدار محسوب می‌شود که این امر می‌تواند منجر به رسیدن به حداکثر عملکرد در ازای مصرف حداقل نهاده‌ها و کاهش هدررفت نیتروژن گردد (Fageria & Baligar, 2005).

مصرف کودهای شیمیایی در ایران طی ۴۰ سال گذشته به بیش از ۹ برابر رسیده است. این افزایش سریع نگرانی‌هایی از نظر آلودگی‌های زیست‌محیطی ایجاد کرده است (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2017). کودهای نیتروژنی بیش از ۶۱ درصد از مصرف کودهای شیمیایی را در کشور به خود اختصاص داده و کود اوره با سهم ۹۰ درصد، دارای رتبهٔ اول مصرف کودهای نیتروژنی است. در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ از مجموع ۱/۲ میلیون تن مصرف کل کودهای شیمیایی در کشور، حدود ۹۵٪ مربوط به کودهای نیتروژنی بوده است (Tavakkoli Kakhki, 2016). در مقیاس جهانی ۵۰ تا ۷۰ درصد از نیتروژن خاک، از دسترس گیاه خارج شده و جذب نمی‌شود که حاصل آن علاوه بر آلودگی محیط، کاهش کارایی مصرف آن است. برای مثال کارایی مصرف نیتروژن برای ذرت در آمریکا ۵۸، در اروگوئه ۴۵۰ و در نیجریه ۲۴۲ کیلوگرم دانه به ازای هر کیلوگرم نیتروژن است، در حالی‌که در آمریکا مصرف کود نیتروژن در هر هکتار مزرعه ذرت، ۱۵۰ کیلوگرم، در اروگوئه ۱۰ و در نیجریه ۶ کیلوگرم است (Doberman & Cassman, 2002).

از اواسط دهه ۱۹۸۰ در نتیجه فشارهای اقتصادی و افزایش حساسیت نسبت به سلامت محیط‌زیست، توجه به کشاورزی پایدار و یا کشاورزی با مصرف بهینه نهاده‌ها رو به گسترش نهاد (Amiri, Jahanm & Rezvani Moghaddam, 2022). در واقع سیاست‌گزاران، برنامه‌ریزان و پژوهشگران، زمینه‌هایی را فراهم آوردند که سمت و سوی توسعه کشاورزی به سوی پایداری باشد تا هر یک از دو مفهوم توسعه و پایداری به نفع دیگری قربانی نگردد. به دلیل آثار زیان‌بار وجود نیترات اضافی در اندام‌های مصرفی گیاهان برای انسان و دام، لازم است مقدار آن در محصولات مختلف به ویژه سیب‌زمینی، پیاز و سبزی‌ها که مصرف روزمره دارند، در حداقل مقدار ممکن نگه‌داشته شود. رابطه بسیار نزدیکی بین مقدار کودهای نیتروژنه مصرفی و تجمع نیترات در محصولاتی که غده، پیاز، ساقه و برگ آن‌ها به‌طور مستقیم مصرف می‌شود وجود دارد. پورتر و همکاران (Porter, Jaeger, & Garlson, 1999) در سال ۱۹۹۹ بیان داشتند که در اثر مصرف مواد آلاینده از جمله سموم شیمیایی و نیترات نسل آینده، با مشکلات متعدد (به‌ویژه در رابطه با تولیدمثل) مواجه خواهند شد. نیترات در سیستم گوارشی تبدیل به نیتریت شده و نیتریت نیز در خون هموگلوبین را به متهموگلوبین تبدیل و فرد را به کمی اکسیژن (مت-هموگلوبینیما) مبتلا می‌سازد. علاوه بر آن نیتریت از طریق ترکیب با یک نوع اسیدآمینه در سیستم گوارشی، تولید نیتروزآمین می‌کند که به باور متخصصان ماده‌ای سرطان‌زا است.

کارایی مصرف نیتروژن (بهره‌وری) (Nitrogen Use Efficiency or Nitrogen Productivity) به‌صورت عملکرد دانه تولید شده به ازای واحد نیتروژن قابل‌دسترس تعریف می‌شود. کارایی مصرف حاصلضرب دو شاخص فیزیولوژیکی؛ یعنی کارایی بازیافت یا جذب نیتروژن (Nitrogen Uptake Efficiency) و کارایی تبدیل نیتروژن (Nitrogen Utilization Efficiency) است (Moll, Kamprath, & Jackson, 1982; Dordas, 2011). کارایی جذب، میزان نیتروژن جذب‌شده توسط گیاه به ازای واحد نیتروژن قابل دسترس و کارایی تبدیل، میزان عملکرد دانه تولید شده به ازای واحد نیتروژن جذب شده توسط گیاه است (Moll *et al.*, 1982). تفاوت در کارایی مصرف نیتروژن در سطوح مختلف مصرف نیتروژن می‌تواند به دلیل تفاوت در یکی از این اجزا یا هر دوی آن‌ها باشد. سهم هر یک از این دو جزء بسته به ژنوتیپ، فصل رشد و میزان مصرف نیتروژن متفاوت است (Dordas, 2011). سهم نسبی هر کدام از دو جزء کارایی جذب و کارایی تبدیل نیتروژن، به میزان مصرف نیتروژن بستگی دارد. بدون در نظر گرفتن میزان مصرف نیتروژن، برای افزایش عملکرد در غلات، کارایی تبدیل نیتروژن سهم بیشتری نسبت به کارایی جذب نیتروژن دارد. چنانچه کارایی مصرف نیتروژن در غلات در مقیاس جهانی تنها ۰/۱ تا ۰/۴درصد در سال افزایش یابد، غله مورد نیاز برای سال ۲۰۲۵ میلادی تامین خواهد شد (Doberman & Cassman, 2002).

نحوه جذب، کارایی مصرف و نحوه تخصیص نیتروژن در گیاهان می‌تواند تحت تأثیر عواملی همچون رطوبت، حاصلخیزی خاک و رقابت قرار گیرد. همچنین افزایش کارایی جذب و استفاده از نیتروژن در تولید دانه نیازمند انجام مؤثر فرآیندهای مربوط به جذب، انتقال، آسیمیلاسیون و توزیع مجدد نیتروژن است. به نظر می‌رسد که یکی از دلایل کاهش کارایی مصرف نیتروژن در مقادیر بالای کود نیتروژن، فزونی سرعت از دست رفتن این عنصر از طریق آبشویی و تصعید یا عدم استفاده مؤثر از آن توسط گیاه باشد. حداکثر کارایی نیتروژن در شرایط حداقل کاربرد ممکن، در مراحلی از نمو گیاه که جذب سریع‌تر انجام می‌شود، به‌دست می‌آید. در این صورت از رشد رویشی

غیرضروری که ممکن است خوابیدگی گیاه و کاهش عملکرد را در پی داشته باشد، جلوگیری می‌شود. از آن‌جایی که در این حالت یک سیستم ریشه‌ای فعال برای جذب نیتروژن مصرف شده وجود دارد، هدرروی نیتروژن از طریق آبشویی، دنیتریفیکاسیون، تبخیر و روان‌آب کاهش می‌یابد (Muurinen, Kleemola, & Peltonen-Sainio, 2007).

با توجه به اهمیت کشت سیب‌زمینی در شهرستان قوچان (با سطح زیرکشت ۵۹۰ هکتار و میانگین عملکرد ۳۰ تن در هکتار) و همچنین تأثیر میزان نیتروژن مصرفی بر عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی، این تحقیق با هدف بررسی واکنش ارقام رایج سیب‌زمینی در منطقه شامل اگریا و آریندا به میزان نیتروژن مصرفی و توصیه میزان مناسب مصرف نیتروژن جهت رسیدن به حداکثر تولید و بررسی میزان کارایی مصرف نیتروژن در ارقام سیب‌زمینی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در شهرستان قوچان در موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی اجرا شده است. محدوده آن از شمال به درگز و کشور ترکمنستان و از جنوب به نیشابور و از شرق به چناران و از غرب به فاروج و شیروان منتهی می‌گردد. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۵۰ متر و با قرار گرفتن در بین ارتفاعات هزار مسجد و آلاداغ دارای آب و هوای معتدل و سرد با میانگین بارش سالانه ۲۹۶ میلی‌متر است (ASMERC, 2021).

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل کرت اصلی میزان مصرف نیتروژن در چهار سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار و عامل کرت فرعی دو رقم سیب‌زمینی اگریا و آریندا بودند. رقم اگریا از جمله ارقام رایج منطقه با عملکرد کیفی و کمی بالا است که قابلیت سازگاری بالایی با شرایط آب و هوایی منطقه دارد و اغلب کشاورزان از این رقم استفاده می‌نمایند. رقم آریندا به تازگی در این منطقه کشت می‌شود. جهت تعیین بافت و سایر ویژگی‌های خاک قبل از اجرای آزمایش اقدام به نمونه‌برداری از خاک مزرعه شد. برای این منظور در چند نقطه از مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌گیری انجام شد. نمونه‌ها با هم ترکیب و نمونه‌ای مرکب به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج آزمون خاک در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Some soil physico-chemical properties of experimen site

بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)	درصد اشباع Saturation percentage (%)	اسیدیته pH	کربن Carbon (%)	نیتروژن قابل‌جذب Available N ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل‌جذب Available P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل‌جذب Available K ($mg.kg^{-1}$)
لوم رسی Clay loam	1.2	36	7.62	1.3	27	19	147

به‌منظور آماده‌سازی بستر کاشت، ابتدا زمین شخم عمیق زده شد و سپس توسط دیسک کلوخه‌ها خرد و به‌وسیله لولر زمین کاملا تسطیح شد. سپس کرت‌های آزمایش به ابعاد ۴×۱۲ متر آماده شد. قبل از کشت مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل به‌طور یکنواخت در زمین پخش و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شد. در تاریخ ۱۰ خردادماه و همزمان با تاریخ کشت اغلب کشاورزان منطقه اقدام به کشت غده شد. در هر کرت چهار ردیف سیب‌زمینی به طول چهار متر کشت شد که فاصله ردیف‌ها از یکدیگر ۷۵ سانتی‌متر، فاصله روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر و عمق کشت ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

کلیه مراحل داشت از قبیل آبیاری، مبارزه با آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز طبق روال و عرف منطقه به موقع انجام شد. کنترل علف‌های هرز توسط علف‌کش سنکور (متری بوزین) و وجین دستی در یک مرحله انجام شد. مبارزه با قارچ‌های بیماری‌زا به جهت پیشگیری از بیماری‌های قارچی در دو نوبت توسط قارچ‌کش متالاکسیل— مانکوزب و استروبی انجام شد. حشره‌کش دیمتوات جهت مبارزه با آفات مکنده از جمله تریپس به‌کار گرفته شد. نیتروژن مورد نیاز در تیمارهای کودی از طریق مصرف کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن) تامین شد. آبیاری مزارع هر ۸ روز یک مرتبه به‌صورت جویچه‌ای (توسط سیفون) انجام شد. کود اوره به میزان مشخص شده در سه نوبت و تا قبل از گلدهی سیب‌زمینی در مزرعه مصرف شد که نوبت اول و دوم کود اوره در جوی‌ها و نوبت آخر به‌صورت محلول در آب آبیاری به‌کار گرفته شد. مزرعه قبل از گلدهی، یک بار توسط دستگاه فاروئر خاک‌دهی شد تا علاوه بر مبارزه مکانیکی با علف‌های هرز و سله‌شکنی، خاک مورد نیاز جهت غده‌بندی سیب‌زمینی تأمین گردد.

در هر کرت دو خط کناری از چهار خط به‌عنوان اثر حاشیه‌ای حذف و از دو خط میانی نمونه‌برداری انجام شد. سطح دو مترمربع از هر کرت در نظر گرفته شد و صفات مورد نظر شامل: ارتفاع بوته، تعداد غده در بوته به تفکیک سایز ریز، متوسط و درشت، وزن خشک اندام هوایی، عملکرد غده به‌صورت تر و خشک و همچنین میزان نیتروژن موجود در غده و اندام‌های هوایی گیاه در مرحله برداشت سیب‌زمینی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری نیتروژن از دستگاه کجلدال و روش برمنر و مولوانی استفاده شد (Bremner & Mulvaney, 1982). با استفاده از کولیس قطر غده‌ها در اندازه‌های مختلف اندازه‌گیری شد و غده‌های با قطر کمتر از ۳۵ میلی‌متر به‌عنوان غده‌های ریز (کوچک)، غده‌های با قطر ۳۵ تا ۵۵ میلی‌متر به‌عنوان غده‌های متوسط و غده‌های با قطر بیشتر از ۵۵ میلی‌متر به‌عنوان غده‌های درشت شناسایی شدند (Esehaghbeygi, 2010). با توجه به تعداد غده‌های کوچک، متوسط و بزرگ و در نهایت تناسب با کل تعداد غده در هر بوته، درصد هر یک از آن‌ها تعیین شد و در محاسبات به‌کار گرفته شد.

برای محاسبه کارایی مصرف نیتروژن، علاوه بر کود مصرفی، میزان نیتروژن موجود در خاک نیز در نظر گرفته شد. برای این منظور عمق خاک زراعی برای سیب‌زمینی ۳۰ سانتی‌متر و همچنین وزن مخصوص ظاهری خاک و نیتروژن قابل جذب به شکل یون نیترات با توجه به نتایج آزمایش خاک مزرعه به‌ترتیب، ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و ۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در نظر گرفته شد و سپس با توجه به اطلاعات مذکور میزان نیتروژن قابل جذب ۱۰۹ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد (جدول ۱). سپس از رابطه‌های (۱) تا (۳) برای محاسبه کارایی نیتروژن استفاده شد (Xie *et al.*, 2015; Timsina, Singh, Badaruddin, Meisner, & Amin, 2001)

$$NUpE = \frac{AN\ (kg.ha^{-1})}{TN\ (kg.ha^{-1})} \quad (۱)$$

$$NUtE = \frac{TY\ (kg.ha^{-1})}{AN\ (kg.ha^{-1})} \quad (۲)$$

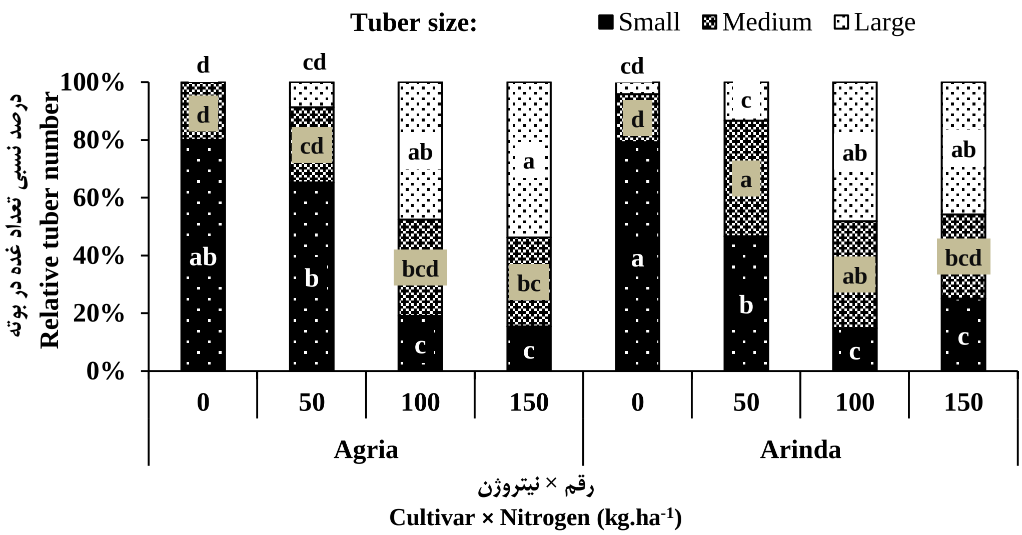
$$NUE = \frac{TY\ (kg.ha^{-1})}{TN\ (kg.ha^{-1})} \quad (۳)$$

در این معادلات، NUpE، NutE و NUE به‌ترتیب، کارایی جذب، کارایی تبدیل و کارایی مصرف یا بهره‌وری نیتروژن، AN کل نیتروژن جذب شده توسط گیاه، TN کل نیتروژن فراهم در خاک و کود مصرفی و TY عملکرد ماده خشک غده سیب‌زمینی تولیدشده است. تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام گرفت و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد. مقایسه کلیه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد غده در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تعداد غده‌های ریز، متوسط و درشت در بوته تحت تأثیر میزان مصرف نیتروژن قرار گرفت، ولی اثر نیتروژن بر تعداد کل غده در بوته معنی‌دار نبود (جدول ۲). اثر رقم و همچنین اثر برهمکنش نیتروژن و رقم بر تعداد غده‌های متوسط و تعداد کل غده در بوته معنی‌دار شد (جدول ۲).



شکل ۱- درصد نسبی تعداد غده در بوته براساس اندازه در تیمارهای مختلف نیتروژن و رقم سیب‌زمینی

Figure 1- Relative percentage of tuber number per plant based on size under different levels of nitrogen and potato cultivar

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means followed by the same letter(s) are not significantly different (p≤0.05).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر مصرف نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد در ارقام سیب‌زمینی

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of the effect of different nitrogen application rates and cultivars on yield and yield component of potato

عامل آزمایشی Experimental factor	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات (Mean of squares) ارتفاع بوته Plant Hieght	تعداد غده کوچک در بوته Small tubers (number per plant)	تعداد غده متوسط در بوته Medium tubers (number per plant)	تعداد غده بزرگ در بوته Large tubers (number per plant)	تعداد کل غده در بوته Total tubers (number per plant)	عملکرد غده Tuber yield	عملکرد اندام هوایی Shoot yield	شاخص برداشت HI
بلوک Block	2	2.91 ns	0.167 ns	0.167 ns	0.042 ns	0.125 ns	1156 ns	73428 ns	1.68 ns
نیتروژن Nitrogen	3	350.36 **	30.500**	3.389**	24.153**	2.375ns	239263541**	4243959**	7.67ns
خطای اصلی Error a	6	22.27	1.500	0.222	0.319	2.458	8673321	122907	7.63
رقم Cultivar	1	279.48**	0.667ns	2.667*	0.375ns	9.375**	486936451**	5063691**	11.90ns
نیتروژن×رقم Nitrogen × Cultivar	3	4.99ns	0.556ns	1.667**	1.153ns	2.708*	1742986ns	103395ns	4.73ns
خطای فرعی Error b	8	10.73	0.333	0.292	0.333	0.625	3243665	61853	6.87
ضریب تغییرات C.V.		7.1	16.9	22.3	25.2	9.7	6.0	7.5	3.8

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد؛ ns: غیر معنی‌دار

* , **, ns indicate significant at the 5 and 1% probability levels, and is non-significant, respectively

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش مصرف کود نیتروژن تعداد غده‌های ریز کاهش و به تعداد غده‌های متوسط و درشت افزوده شد (جدول ۲). درصد نسبی تعداد غده در بوته بر اساس اندازه در تیمارهای مختلف نیتروژن و رقم سیب زمینی در شکل ۱ نشان داده شده است که به‌وضوح نشان می‌دهد که برای هر دو رقم با افزایش سطوح کود نیتروژن درصد نسبی غده‌های ریز کاهش یافته و به درصد نسبی غده‌های درشت افزوده شد (شکل ۱).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی نیتروژن و رقم بر عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی

Table 3- Comparison of the mean of the main effects of nitrogen and cultivar on yield and yield components of potato

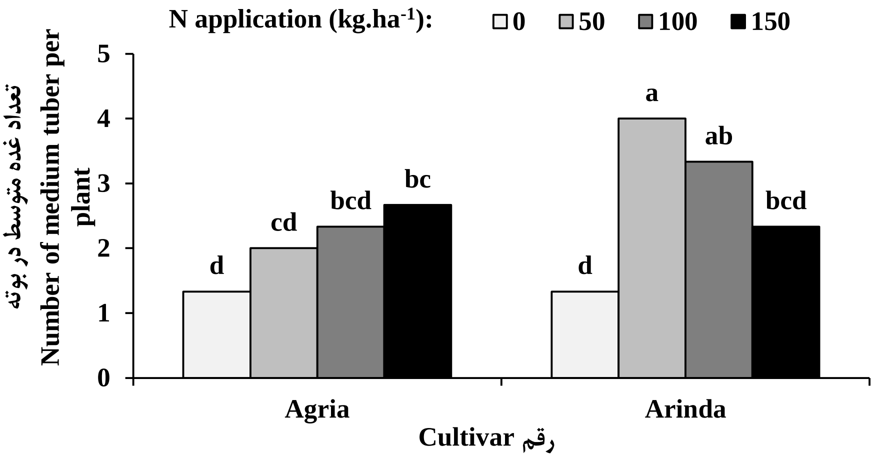
عامل آزمایشی Experimental factor	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد غده کوچک در بوته Small tubers (number per plant)	تعداد غده بزرگ در بوته Large tubers (number per plant)	عملکرد غده Tuber yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد اندام هوایی Shoot yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت HI (%)
Nitrogen نیتروژن ($kg.ha^{-1}$)						
0	36.5 c	5.8 a	0.2 c	21965 c	2233 c	70.2 a
50	45.1 b	4.8 a	1.0 b	28443 b	3023 b	68.8 a
100	49.2 ab	1.3 b	3.8 a	33906 a	3862 a	67.6 a
150	54.6 a	1.7 b	4.2 a	36119 a	4069 a	68.0 a
رقم Cultivar						
Agria	43.0 b	3.3 a	2.2 a	25604 b	2837 b	69.4 a
Arinda	49.8 a	3.6 a	2.4 a	34613 a	3756 a	68.0 a

*: برای هر عامل و در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند ($p \leq 0.05$).

For each factor and in each column, means followed by the same letter(s) are not significantly different ($p \leq 0.05$).

مصرف نیتروژن بیشتر در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص منجر به تولید بیشترین درصد غده های درشت شد که با تیمار مصرف نیتروژن صفر، اختلاف معنی‌داری داشت. همچنین کمترین میزان غده‌های درشت مربوط به تیمار بدون نیتروژن بود.

مقایسه میانگین اثر برهمکنش رقم در کود نیتروژن برای تعداد غده با سایز متوسط (۳۵ تا ۵۵ میلی‌متر) در بوته نشان داد که رقم آریندا در تیمار ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با میانگین ۴ غده در بوته دارای بیشترین تعداد غده متوسط در بوته بود و کمترین تعداد غده متوسط در بوته نیز در تیمار عدم مصرف نیتروژن در هر دو رقم با میانگین ۱/۳۳ غده در بوته مشاهده شد (شکل ۲).



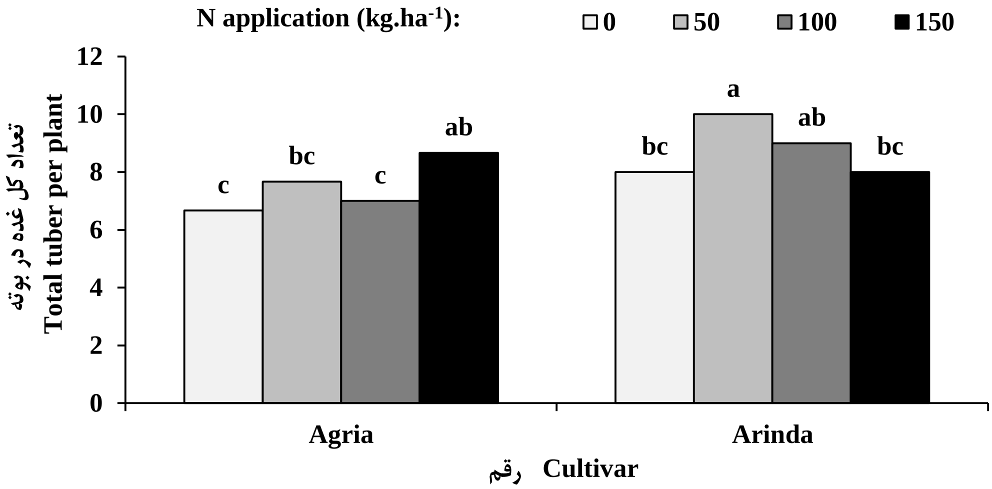
شکل ۲- تعداد غده با سایز متوسط در بوته در تیمارهای مختلف نیتروژن و رقم سیب‌زمینی

Figure 2- The number of medium-sized tubers per plant under different levels of nitrogen and potato cultivar

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند ($p\leq0.05$)

Means followed by the same letter(s) are not significantly different ($p\leq0.05$).

از نظر تعداد کل غده در بوته نیز رقم آریندا در تیمار ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با میانگین ۱۰ غده در بوته بیشترین و رقم اگریا در تیمار عدم مصرف کود نیتروژن با میانگین ۶/۶۷ غده در بوته، کمترین تعداد غده در بوته را دارا بودند که البته بین تیمارهای صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در رقم اگریا اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳).



شکل ۳- تعداد کل غده در بوته در تیمارهای مختلف نیتروژن و رقم سیب‌زمینی

Figure 3- The total number of tubers per plant under different levels of nitrogen and potato cultivar

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند ($p\leq0.05$)

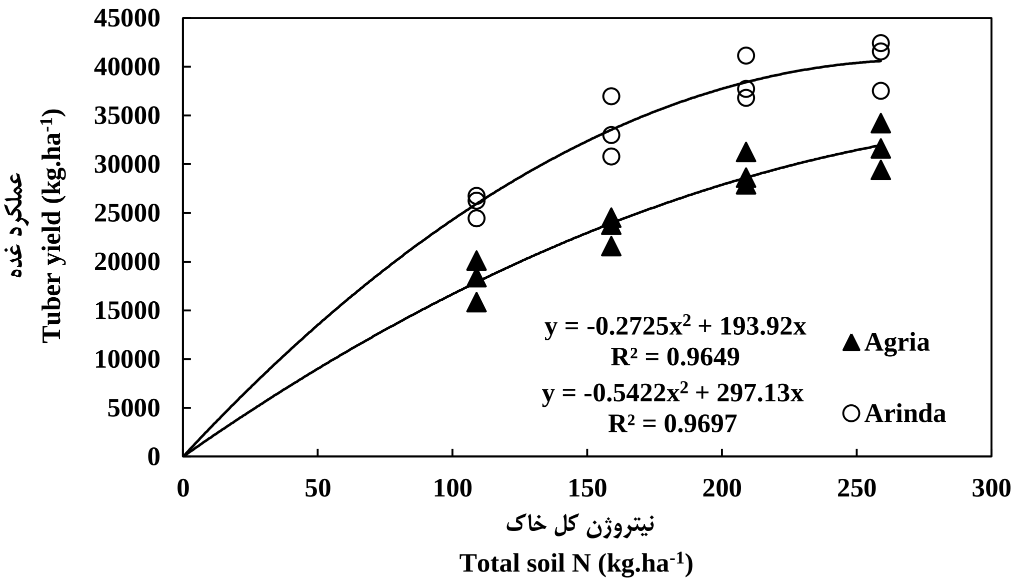
Means followed by the same letter(s) are not significantly different ($p\leq0.05$).

تشکیل غده سیب زمینی حاصل ذخیره شدن کربوهیدرات به ویژه نشاسته در آخرین گره استولون است. افزایش فتوسنتز سبب انتقال کربوهیدرات از برگ‌ها به سمت ریشه و تشکیل غده‌ها می‌شوند (Kholdbarin & Eslamzadeh, 2001). تعداد غده یکی از اجزای موثر بر میزان عملکرد سیب‌زمینی به‌شمار می‌رود و افزایش آن می‌تواند به افزایش عملکرد منجر شود. با این حال، تعداد غده در بوته بسته به ویژگی‌های ژنتیکی رقم، تعداد ساقه، شرایط آب و هوایی و عناصر غذایی می‌تواند متغیر باشد (Khajehpoor, 2004).

عملکرد غده

تجزیه واریانس نشان داد که اثر کود نیتروژن و رقم بر عملکرد معنی‌دار ولی اثر برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۲). در سطوح مساوی نیتروژن، رقم آریندا از عملکرد بیشتری برخوردار بود و با افزایش میزان مصرف نیتروژن افزایش عملکرد در هر دو رقم اگریا و آریندا مشاهده شد (شکل ۴). این افزایش عملکرد غده در اثر افزایش میزان نیتروژن خاک از یک رابطه درجه ۲ پیروی می‌کند که ضریب تبیین آن برای ارقام اگریا و آریندا به‌ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۸۹ بود (شکل ۴). شیب خط مماس در این منحنی‌ها نشانگر کیلوگرم غده تولیدی به ازای هر کیلوگرم نیتروژن در خاک است و در رقم آریندا (۲۹۷) بزرگ‌تر از رقم اگریا (۱۹۴) است. همچنین با مشتق‌گیری و برابر صفر قرار دادن آن، نقطه عطف منحنی‌ها به‌دست آمد که برای ارقام آریندا و اگریا به‌ترتیب ۲۷۴ و ۳۵۶ بود. بنابراین برای این‌که حداکثر عملکرد غده به‌دست آید نیاز به ۲۷۴ و ۳۵۶ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌ترتیب برای ارقام آریندا و اگریا خواهد بود.

افزایش متوسط وزن غده‌های ریز در پاسخ به مصرف کود نیتروژن می‌تواند با رشد بیشتر گیاه، شاخ و برگ و سطح برگ بیشتر و همچنین تشدید فتوسنتز مرتبط باشد که خود منجر به افزایش وزن غده‌های ریز می‌شود (Negero, 2017).



شکل ٤- رابطه بین نیتروژن خاک و عملکرد غده سیب‌زمینی تحت تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن و رقم سیب‌زمینی در منطقه قوچان

Figure 4- The relationship between soil nitrogen content and potato tuber yield under different levels of nitrogen fertilizer and potato cultivar in the Quchan region

شاخص برداشت

شاخص برداشت سیب‌زمینی از تقسیم وزن خشک غده بر وزن ماده خشک کل (اندام هوایی+ غده) محاسبه شد. نتایج نشان داد که اثر نیتروژن و رقم و اثر برهمکنش آن‌ها بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود (جدول ۱). از آنجایی که عامل‌های آزمایشی به یک نسبت باعث تغییرات عملکرد خشک غده و وزن خشک اندام هوایی شده است، اثرات این عوامل بر شاخص برداشت معنی‌دار نشده است. محمدیان روشن و همکاران (Mohammadian Roshan, Amiri, Sadeghi, Moradi, & Azarpour, 2011) در پژوهش خود تحت عنوان بررسی اثرات مقدار و زمان تقسیط کود ازته بر عملکرد و ویژگی‌های زراعی برنج (رقم هاشمی) دریافتند که اثر سطوح مختلف تقسیط کود نیتروژن بر کلیه صفات به‌جز شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در مطالعه بخشنده و همکاران (Bakhshandeh, Soltani, Zeinali, & Ghadiryan, 2012) نیز متوسط شاخص

برداشت در گندم ۴۴/۱ درصد محاسبه شد که تحت تـأثیر رقـم قـرار نگرفت. مجـدم و همکـاران (Mojaddam, Dashti, & Derogar, 2016) در بررسی اثر کود نیتروژن و اسیدهیومیک بـر عملکـرد ذرت بهاره مشاهده کردند که شاخص برداشت با کـاربرد هـر دو نـوع کـود افزایش نشان داد.

درصد نیتروژن غده و اندام هوایی

تأثیر نیتروژن و رقم بر درصد نیتروژن غده و اندام هوایی در سطح یک درصد معنی‌دار بود ولی اثر برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۴). بدیهی است که مصرف کودهای شیمیایی حاوی نیتـروژن باعـث افزایش نیتروژن انباشت شده در غده و اندام هوایی گیاه خواهـد شـد. عوامل متعددی تجمع نیترات را در گیاهان تحت تاثیر قرار مـی‌دهنـد که به‌صورت کلی در دو گروه عوامل محیطی و عوامل ژنتیکـی قابـل بررسی هستند. از عوامل ژنتیکی موثر بر تجمع نیترات در گیاهان، نوع و گونه گیاهان است که می‌تـوان آن را به توانایی گیاهان مختلـف در تولید آنزیم نیترات ردوکتاز نسبت داد. فعالیت آنـزیم نیتـرات ردوکتـاز به‌عنوان یک عامل ژنتیکی و اولین آنزیم مؤثر در متابولیسـم و احیـاء یون نیترات اهمیت زیادی دارد. یون نیترات در حضور ایـن آنـزیم بـه یون آمونیوم تبدیل شده و در نتیجه از تجمع نیترات در بافـت گیـاهی کاسته می‌شود (Tabande & Shiraze, 2018).

شاخص برداشت نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر رقم بر شاخص برداشـت نیتروژن در سطح یک درصد معنی‌دار بـود ولـی اثـر مصـرف مقـادیر مختلف نیتروژن معنی‌دار نبود (جدول ۴). با افزایش میـزان نیتـروژن، شاخص برداشت نیتروژن کاهش یافت. شاخص برداشت نیتروژن رقم اگریا ۶۳/۶ و با شاخص برداشت نیتروژن رقـم آرینـدا ۶۱/۶ اخـتلاف معنی‌دار داشت. همچنین در مقایسه میـانگین‌هـا در سـطوح مختلـف مصرف نیتروژن، بیشترین شاخص برداشت نیتروژن مربوط بـه سـطح بدون مصرف نیتروژن با ۶۴/۶ و کمترین شـاخص برداشـت نیتـروژن مربوط به سطح ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص با عدد ۶۱/۲ است.

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح مختلف مصرف نیتروژن و رقم بر درصد نیتروژن غده، درصد نیتروژن اندام هوایی، کارایی جذب، تبدیل، مصرف و شاخص برداشت نیتروژن در سیب‌زمینی

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of the effect of different levels of nitrogen consumption and cultivar on tuber nitrogen percentage, shoot nitrogen percentage, uptake efficiency, utilization, consumption, and nitrogen harvest index in potato

عامل آزمایشی Experimental factor	درجه آزادی d.f.	درصد نیتروژن غده N tuber	درصد نیتروژن اندام هوایی N Shoot	میانگین مربعات (Mean of squares): شاخص برداشت نیتروژن N HI	مقدار کل نیتروژن جذب شده N Total	کارایی جذب نیتروژن NUpE	کارایی تبدیل نیتروژن NUtE	کارایی مصرف نیتروژن NUE
بلوک Block	2	0.0037ns	0.0240ns	2.28ns	186.8ns	0.0058ns	898ns	29ns
نیتروژن Nitrogen	3	0.1553**	0.2960**	12.95ns	14617.9**	0.0039ns	8565**	4081**
خطای اصلی Error a	6	0.0081	0.0102	15.16ns	139.4	0.0029	352	282
رقم Cultivar	1	0.1998**	0.2752**	24.00**	1176.0**	0.0280**	16267**	17067**
نیتروژن×رقم Nitrogen * Cultivar	3	0.0033ns	0.0057ns	10.01ns	100.7ns	0.0009ns	1148*	445ns
خطای فرعی Error b	8	0.0045	0.0162	11.14	50.0	0.0018	226	119
ضریب تغییرات C.V.		5. 6	8.1	5.3	5.1	5.6	6.7	6.4

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد؛ ns: غیر معنی‌دار

* , **, ns indicate significant at the 5 and 1% probability levels, and is non-significant, respectively

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح نیتروژن و رقم بر کارایی جذب، تبدیل و مصرف (بهره‌وری) نیتروژن در سیب‌زمینی

Table 5- Mean comparisons of the main effects of nitrogen levels and cultivar on potato nitrogen uptake, utilization, and use efficiency in potato

عامل آزمایشی Experimental factor	درصد نیتروژن غده N_tuber %	درصد نیتروژن اندام هوایی N_Biomass %	شاخص برداشت نیتروژن N_HI %	مقدار کل نیتروژن جذب شده N_Total uptake kg	کارایی جذب نیتروژن NUpE kg N_{uptake}/kg $N_{soil+applicd}$	کارایی تبدیل نیتروژن NUE kg grain/kg N_{uptake}	بهره وری نیتروژن NUE Kg grain/kg $N_{soil+applicd}$
نیتروژن Nitrogen (kg.ha^{-1})							
0	1.01 [c]	1.30 c	64.6 a	80 d	0.74 a	273 a	201 a
50	1.14 b	1.50 b	62.7 a	120 c	0.76 a	236 b	179 ab
100	1.27 a	1.68 a	61.2 a	166 b	0.79 a	204 c	162 bc
150	1.38 a	1.81 a	61.9 a	192 a	0.74 a	188 c	140 c
رقم Cultivar							
Agria	1.29 a	1.68 a	63.6 a	133 b	0.72 b	199 b	144 b
Arinda	1.11 b	1.47 b	61.6 b	146 a	0.79 a	251 a	197 a

* برای هر عامل و در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند ($p\leq0.05$).

* For each factor and in each column, means followed by the same letter(s) are not significantly different ($p\leq0.05$).

برای محاسبه بهره‌وری نیتروژن سطوح نیتروژن مصرف شده به‌علاوه نیتروژن موجود در خاک (۱۰۹ کیلوگرم در هکتار) در نظر گرفته شده است.

To calculate nitrogen productivity, the nitrogen levels plus soil nitrogen content were considered (109 kg ha^{-1}).

مقدار کل نیتروژن جذب‌شده

اثر نیتروژن و رقم بر مقدار کل نیتروژن جذب‌شده در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴)، به‌طوری که بیشترین نیتروژن جذب‌شده مربوط به تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار و کمترین میزان نیتروژن جذب‌شده مربوط به سطح بدون مصرف نیتروژن بود که حاکی از آن است که مصرف اوره به‌صورت کود شیمیایی موجب فراهمی نیتروژن در اطراف ریشه شده و مقدار کل نیتروژن جذب‌شده در این حالت بیشتر خواهد شد، در حالی‌که در تیمار بدون مصرف کود، گیاه ناچار به جذب نیتروژن موجود در خاک بوده و با توجه به کمبود نیتروژن در خاک، میزان جذب آن کاهش خواهد یافت.

بین رقم اگریا و آریندا نیز در میزان جذب نیتروژن اختلاف معنی‌دار وجود داشت و رقم آریندا مقدار کل نیتروژن جذب‌شده بالاتری نسبت به رقم اگریا داشت.

بهره‌وری (کارایی مصرف) نیتروژن

تأثیر میزان مصرف نیتروژن و رقم بر کارایی مصرف نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین کارایی مصرف مربوط به سطح بدون نیتروژن به میزان ۲۰۱ کیلوگرم غده بر کیلوگرم نیتروژن مصرف‌شده + میزان نیتروژن خاک و کمترین کارایی مصرف نیتروژن به تیمار سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص مربوط بود (جدول ۵). این بدین معنی است که در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار، گیاه نتوانسته متناسب با افزایش کود نیتروژن، غده تولید کند. به عبارت دیگر، میزان عملکرد غده نسبت به نیتروژن مصرفی با یک شیب ثابت افزایش پیدا نکرده است. بیش‌ترین کارایی مصرف نیتروژن به‌طور معمول با مصرف اولین واحد کودی حاصل می‌شود (طبق قانون بازده نزولی) (Gardner, Pearce, & Mitchell, 1985). رقم و نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن تأثیر معنی‌دار داشتند ولی اثر برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نبود.

دارابی و همکاران (Darabi, Rafi, Omidvari, Javadzadeh, & Yaghoubi, 2020) در آزمایشی دریافتند که تأمین ۷۵٪ نیتروژن مورد نیاز گیاه از منبع کود شیمیایی اوره و ۲۵ درصد از منبع ورمی‌کمپوست در مقایسه با تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه، سبب افزایش کارایی زراعی نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن در هر دو رقم مورد مطالعه شد. خان و همکاران (Khan *et al.*, 2017) طی بررسی روی گندم دریافتند که با افزایش کاربرد کود نیتروژن، کارایی مصرف آن کاهش یافت.

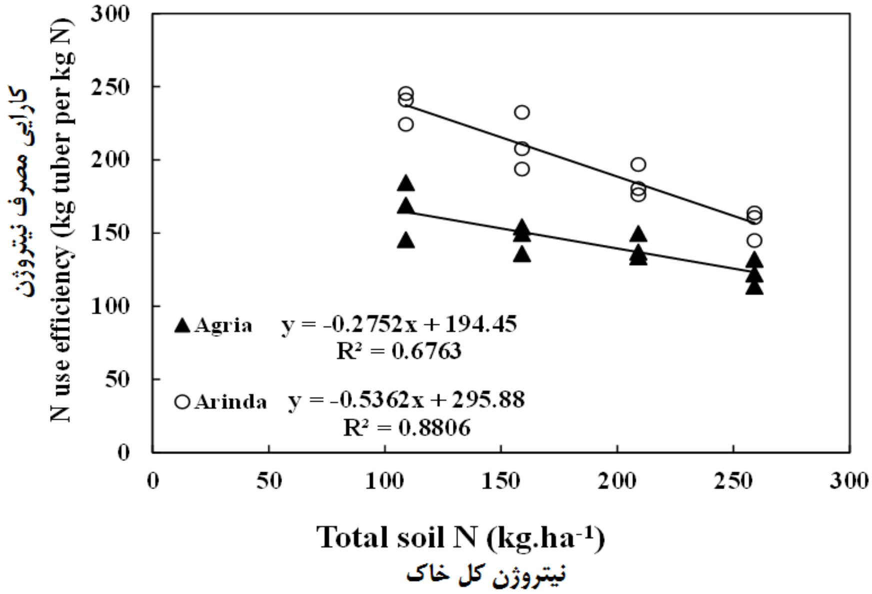
کارایی جذب نیتروژن

اثر سطوح نیتروژن بر کارایی جذب نیتروژن معنی‌دار نبود ولی رقم بر کارایی جذب نیتروژن در سطح یک درصد تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۴). به نظر می‌رسد که در شرایط افزایش مصرف نیتروژن در خاک، تجمع بیش از حد نیتروژن در محیط ریزوسفر ریشه گیاه باعث بهم خوردن رابطه میان عرضه و تقاضای این عنصر شده و در نتیجه

منجر به تشدید آب‌شویی و تصعید آن شد. احمدی و همکاران (Ahmadi, Mondani, Khoramivafa, Mohammadi, & Shirkhani, 2018) نیز گزارش کرد با افزایش نیتروژن کارایی جذب نیتروژن ارقام ذرت تحت شرایط اقلیمی کرمانشاه کاهش یافت. خان و همکاران (Khan *et al.*, 2017) دریافتند که افزایش مصرف کود نیتروژن منجر به کاهش کارایی جذب نیتروژن در گندم شد.

در مقایسه میانگین اثرات اصلی نیتروژن و رقم بر کارایی جذب نیتروژن سیب‌زمینی، اختلاف معنی‌داری بین ارقام وجود داشت، به‌طوری‌که رقم آریندا با میانگین کارایی جذب نیتروژن ۰/۷۹ کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده بر کیلوگرم نیتروژن مصرف‌شده + نیتروژن قابل‌جذب خاک بیشترین کارایی و رقم اگریا با ۰/۷۲ کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده بر کیلوگرم نیتروژن مصرف‌شده + نیتروژن قابل جذب خاک کمترین کارایی مصرف نیتروژن را دارد (شکل ۵).

سینگ (Singh, 2012) گزارش کرد که کارایی جذب نیتروژن با افزایش سطح کاربرد کود کاهش یافت. در کشت مخلوط ذرت و پنبه، در هر دو گیاه با افزایش سطوح نیتروژن از صفر به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی جذب نیتروژن به‌طور معنی داری کاهش یافت و در کلیه سطوح آزمایشی، کارایی جذب نیتروژن در ذرت بالاتر از پنبه بود و با توجه به این‌که ذرت نسبت به پنبه دارای سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر است، بنابراین بالا بودن کارایی جذب آن طبیعی به نظر می‌رسد (Koocheki, Nassiri Mahallati, Moradi, & Alizadeh, 2015).



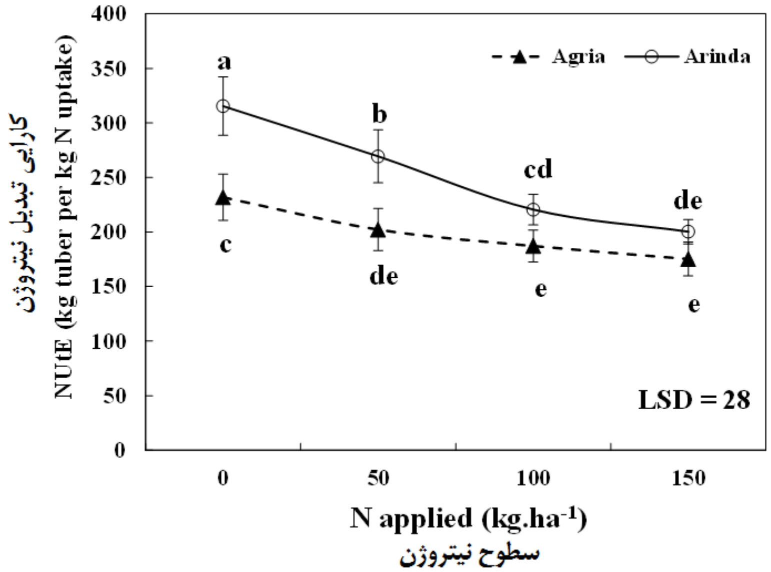
شکل ۵- رابطه بین فراهمی نیتروژن خاک و کارایی مصرف نیتروژن تحت تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن و رقم سیب‌زمینی در منطقه قوچان

Figure 5- The relationship between soil nitrogen availability and nitrogen use efficiency under the influence of different levels of nitrogen fertilizer and potato cultivar in the Quchan region

کارایی تبدیل نیتروژن

اثر سطوح مختلف مصرف نیتروژن بر کارایی تبدیل نیتروژن معنی‌دار بود ($p \leq 0.01$) (جدول ۴). با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن از صفر به ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار، کارایی تبدیل نیتروژن کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان کارایی تبدیل نیتروژن در شرایط بدون مصرف نیتروژن به میزان ۲۷۳ کیلوگرم غده بر کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده و کمترین آن در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به میزان ۱۷۸ کیلوگرم غده بر کیلوگرم نیتروژن جذب شده در هکتار مشاهده شد (جدول ۵). نیتروژن و رقم بر کارایی تبدیل نیتروژن تأثیر معنی‌دار داشتند ولی اثر برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نبود. در مقایسه میانگین‌ها بین رقم اگریا و آریندا در کارایی تبدیل نیتروژن اختلاف معنی‌دار وجود داشت و رقم آریندا با میانگین ۲۵۱ کیلوگرم غده بر کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده در هکتار از کارایی تبدیل نیتروژن بالاتری نسبت به رقم اگریا با ۱۹۹ کیلوگرم غده بر کیلوگرم نیتروژن جذب شده در هکتار برخوردار بود.

بیشترین کارایی معمولاً با جذب اولین واحد عنصر غذایی (سطح کودی) به‌دست می‌آید و واحدهای بعدی مصرف عنصر غذایی، تأثیر افزایشی کمتر بر عملکرد دارد (منحنی سپس ثابت می‌شود و به‌صورت خط مجانب در می‌آید) که این موضوع تحت عنوان قانون بازده نزولی میچرلیخ بیان می‌شود (Cerrato & Blackmer, 1990; Asadi, Momen, Nurzadeh Namaghi, & Khorramdel, 2014).



شکل ٦- رابطه بین فراهمی نیتروژن خاک و برهمکنش نیتروژن و رقم بر کارایی تبدیل نیتروژن تحت تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن و رقم سیب‌زمینی در منطقه قوچان

Figure 6- The relationship between soil nitrogen availability and nitrogen and cultivar interaction on nitrogen utilization efficiency under the influence of different levels of nitrogen fertilizer and potato cultivar in the Quchan region

میله‌های عمودی نشان‌دهنده اشتباه استاندارد میانگین هستند.

Vertical bars indicate the standard error of means

در مقایسه برهمکنش نیتروژن و رقم بر کارایی تبدیل نیتروژن مشاهده شد که رقم آریندا از کارایی بالاتری نسبت به رقم اگریا برخوردار بود، اگرچه که در سطوح یکسان مصرف نیتروژن، با افزایش میزان نیتروژن مصرفی با شیب نسبتاً تندتری نسبت به رقم اگریا کاهش یافت (شکل ۶). بیشترین اختلاف دو رقم در کارایی تبدیل نیتروژن مربوط به سطح بدون مصرف نیتروژن و کمترین اختلاف مربوط به سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار بود (شکل ۶).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش مقدار کاربرد کود نیتروژن، در بیشتر ویژگی‌های مورد ارزیابی ارقام سیب‌زمینی از جمله عملکرد بهبود حاصل شد، ولی ارزیابی کارایی‌های نیتروژن نشان داد که با افزایش میزان مصرف کود، کارایی مصرف (بهره‌وری) نیتروژن کاهش یافت. بنابراین، اگر کود نیتروژن در مزارع سیب‌زمینی صرفا از نگاه تولید و جنبه‌های اقتصادی به‌کار برده شود، با افزایش مصرف این عنصر تا حد زیادی عملکرد غده بهبود می‌یابد، اما اگر از دیدگاه اکولوژیک و اقتصاد اکولوژیک به مسئله نگاه شود، می‌توان نتیجه گرفت که مصرف بیش از حد کود نیتروژن نه تنها منجر به بهبود بهره‌وری تولید در سیستم‌های زراعی نخواهد شد، بلکه باعث افزایش مخاطرات زیست‌محیطی نیز می‌شود. با توجه به برآیند نتایج این پژوهش، رقم آریندا در مقایسه با اگریا از نظر عملکرد غده و کارایی نیتروژن دارای شرایط بهتری بود. بنابراین، اگرچه به‌نژادی ارقامی با کارایی تبدیل نیتروژن بالاتر می‌تواند گام مؤثری در افزایش کارایی مصرف نیتروژن ایفا کند، ولی به نظر می‌رسد تمرکز بیشتر بر روش‌های مدیریت کاربرد نیتروژن به‌ویژه استفاده به اندازه و به‌موقع آن می‌تواند اثر بیشتری بر کارایی مصرف نیتروژن داشته باشد. با توجه به نتایج پیشنهاد می‌شود به جهت جلوگیری از اثرات مضر نیتروژن بر محیط‌زیست و منابع زیرزمینی از مصرف بیش از ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در مزارع اجتناب شود، زیرا مصرف بی‌رویه نیتروژن نه تنها باعث افزایش عملکرد نخواهد شد بلکه با آبشویی و انتقال به اعماق خاک باعث آلودگی منابع آبی و افزایش تجمع نیترات در محصول خواهد شد که در نهایت سلامت محصول و جامعه را به خطر خواهد انداخت.

سپاسگزاری

هزینه انجام این پژوهش در قالب طرح شماره ۳ به شماره ۳/۵۲۶۹۲ مصوب ۱۳۹۹/۰۷/۲۳ توسط معاونت محترم پژوهش و

فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است، که به این وسیله
قدردانی می‌شود.

References

1. Agricultural Statistics, Crop Products (2018) Ministry of Jahad Agriculture - Estimation of level, production and yield per hectare of potato crop by province in 2018-19 crop year. 1: 40.
2. Ahmadi, M., Mondani, F., Khoramivafa, M., Mohammadi, G. R., & Shirkhani, A. (2018). Evaluation of Nitrogen Uptake and Productivity of Maize Cultivars (*Zea mays* L.) under Kermanshah Climate Conditions. *Journal of Agroecology*, *10*(1), 234-247.
3. Amiri, M. B., Jahanm M., & Rezvani Moghaddam, P. (2022). An exploratory method to determine the plant characteristics affecting the final yield of Echium amoenum Fisch. & C.A. Mey. under fertilizers application and plant densities. *Scientific Reports*, *12*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-022-05724-8
4. Asadi, G. A., Momen, A., Nurzadeh Namaghi, M., & Khorramdel, S. (2014). Effects of organic and chemical fertilizer rates on nitrogen efficiency indices of isabgol (*Plantago ovata Forsk*.). *Journal of Agroecology*, *5*, 373-382. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V5I4.32992
5. Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC). (2021). http://www.asmerc.ac.ir
6. Bakhshandeh, S., Soltani, A., Zeinali, E., & Ghadiryan, R. (2012). Study of dry matter and nitrogen accumulation, remobilization and harvest index in bread and durum wheat cultivars. *Journal of Crop Production*, *6*(1), 39-59. https://doi.org/20.1001.1.2008739.1392.6.1.3.9
7. Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982) Nitrogen-Total. In: Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. Eds., American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 595-624. https://doi.org/10.12691/wjar-3-5-3
8. Cerrato, M. E., & Blackmer, A. M. (1990). Relationship between grain nitrogen concentration and the nitrogen status of corn. *Agronomy Journal*, *82*, 744-749. https://doi.org/10.2134/agronj1990.00021962008200040019x
9. Darabi, A., Rafi, M., Omidvari, S., Javadzadeh, M., & Yaghoubi, V., (2016). Investigation of the effects of vermicompost and urea on yield, yield components and quality traits of potato cultivars in Khuzestan. *Journal of Potato Applied Sciences*, *3*(2), 1-8. https://sid.ir/paper/389368/en
10. Devaux, A., Kromann, P., & Ortiz, O. (2014). Potatoes for sustainable global food security. *Potato Research*, *57*, 185-199.
11. Doberman, A., & Cassman, K. G. (2002). Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive gain production systems for the United States and Asia. *Plant Soil*, *247*, 247-278.
12. Dordas, C. A. (2011). Nitrogen nutrition index and its relationship to N use efficiency in linseed. *European Journal of Agronomy*, *34*, 124-132.
13. Esehaghbeygi, A. (2010). The Effect of Cultivation Depth and Variety on the Yield and Properties of Potato tuber. *Journal of Plant Production*, *33*(1): 67-74. https://doi.org/10.22055/ppd.2023.37678.1984
14. Fageria, N. K., & Baligar, V. C. (2005). Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*, *88*, 97-185.
15. FAO. (2017). FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available in: http://faostat.fao.org/countryprofiles.
16. Gardner, F. P., Pearce, R. B., & Mitchell, R. L. (1985). *Physiology of crop plants*. Publication of Iowa State University. p. 327.
17. Khajehpoor, M. R. (2004). *Industrial plants*. University of Esfahan Press, 564. (in Persian).
18. Khan, A., Khan, A., Li, J., Ahmad, M. I., Sher, A., Rashid, A., & Ali, W. (2017). Evaluation of wheat varietal performance under different nitrogen sources. *American Journal of Plant Sciences*, *8*, 561-573. https://doi.org/10.4236/ajps.2017.83039
19. Kholdbarin, B., & Eslamzade, T. (2001). *Mineral nutrition of higher plants*. Shiraz University Press, Shiraz, Iran. 495 pp.
20. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Moradi, R., & Alizadeh, Y. (2015). Evaluation of yield and nitrogen use efficiency of maize and cotton intercropping under different nitrogen levels. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *13*(1), 1-13. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/GSC.V13I1.48310
21. Leytem, A. B., & Westermann, D. T. (2005). Phosphorus availability to barley from manures and fertilizers on a calcareous soil. *Soil Science*, *170*, 401-412.
22. Mohammadian Roshan, N., Amiri, A., Sadeghi, S. M., Moradi, M., & Azarpour, A. (2011). Investigation of the effects of amount and timing of nitrogen fertilizer application on rice yield and agronomic characteristics (Hashemi cultivar) Lahijan Branch. *Journal of Biological Sciences*, *5*(4), 133-141. https://sid.ir/paper/164265/fa
23. Mojaddam, M., Dashti, M., & Derogar, N. (2016). Effect of humic acid and nitrogen fertilizer application on quantitative and qualitative characteristics and nitrogen use efficiency of spring corn. *Journal of Crop Production and Research*, *8*, 43-51. (in Persian). https://doi.org/10.22069/EJCP.2018.13051.2012
24. Moll, R. H., Kamprath, E. J., & Jackson, W. A. (1982). Analysis and interpretation of factors which contribute to

efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal*, *74*, 562-564.

25. Muurinen, S., Kleemola, J., & Peltonen-Sainio, P. (2007). Accumulation and translocation of nitrogen in spring cereal cultivars differing in nitrogen use efficiency. *Agronomy Journal*, *99*, 441-449.
26. Nassiri Mahallati, M., & Koocheki, A. (2017). Trend Analysis of Nitrogen Use and Productivity in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Production Systems of Iran. *Journal of Agroecology, 9*(2), 360- 378. (in Persian with English abstract).
27. Negero, F. W. (2017). Yield and yield components of potato (*Solanum tuberosum* L.) as influenced by planting density and rate of nitrogen application at Holeta, West Oromia region of Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research, 12*(26), 2242-2254. https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11840
28. Porter, W. P., Jaeger, J. A., & Garlson, I. H. (1999). Endoerine, immune, and behaviorl effects of aldicarb (carbamate), atrazine (tviazine), and nitrate (fertilizer) mixtures at ground water concentrations. *Toxicology and Industrial Health, 15*(1-2). https://doi.org/10.1177/074823379901500111
29. Singh, M. (2012). Influence of organic mulching and nitrogen application on essential oil yield and nitrogen use efficiency of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science, 59*, 273-279. https://doi.org/10.1080/03650340.2011.608157
30. Tabande, L., & Shiraze, S. S. (2018). Evaluation of nitrate accumulation and factors affecting it in some leafy vegetables in Zanjan Province. *Iranian Journal of Soil Research, 32*(2), 189-202. (in Persian). https://doi.org/10.22092/IJSR.2018.117043
31. Tavakkoli Kakhki, H. R. (2016). *Zoning and evaluation of nitrogen use efficiency and nitrogen balance for wheat and corn cropping systems of Iran by using simulation model and GIS*. Ph.D. Dissertation. Ferdowsi University of Mashhad.
32. Timsina, J., Singh, U., Badaruddin, M., Meisner, C., & Amin, M. R. (2001). Cultivar, nitrogen, and water effects on productivity, and nitrogen-use efficiency and balance for rice–wheat sequences of Bangladesh. *Field Crops Research, 72,* 143-161.
33. Xie, K., Li, X., He, F., Zhang, Y., Wan, L., David, B. H., Wang, D., Qin, Y., & Gamal, M. A. F. (2015). Effect of nitrogen fertilization on yield, N content, and nitrogen fixation of alfalfa and smooth bromegrass grown alone or in mixture in greenhouse pots. *Journal of Integrative Agriculture, 14*(9), 1864-1876.